

MICRONUTRIENTES EN FRUTOS Y HOJAS DE CAFÉ

Siavosh Sadeghian Khalajabadi*; Alveiro Salamanca Jiménez*

SADEGHIAN K., S.; SALAMANCA J., A. Micronutrientes en frutos y hojas de café. Revista Cenicafé 66 (2): 73-87. 2015

En los estudios de la nutrición mineral un aspecto a tener en cuenta se relaciona con la absorción y la acumulación de los elementos requeridos por los diferentes órganos de la planta, en cada una de las etapas fenológicas del cultivo. Con el objetivo de determinar la acumulación de Fe, Mn, Zn, Cu y B en frutos de café (*Coffea arabica* L.) Variedad Castillo®, y su relación con la concentración foliar, se analizaron mensualmente muestras de frutos y de hojas desde la floración hasta la cosecha, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé. La acumulación de la materia seca del fruto a través del tiempo siguió una curva sigmoideal doble y, aunque se presentaron algunas variaciones entre las localidades, en todas fue posible distinguir las siguientes etapas: una inicial con poca ganancia en la biomasa del fruto (hasta los 60 a 90 días después del pico de la floración-DDPF), seguida por una expansión rápida (hasta los 90 a 120 DDPF), una fase de crecimiento desacelerado (hasta los 150 DDPF) y un cuarto estadio con un fuerte incremento en acumulación de materia seca. La concentración de los micronutrientes en el fruto disminuyó durante los primeros 120 días después de la floración, y la tendencia en su acumulación fue similar al crecimiento del fruto, presentando el siguiente orden: Mn>Fe>B>Cu>Zn. No hubo una relación clara entre las variaciones de los micronutrientes foliares y su demanda por los frutos. A excepción de Mn, no se detectó efecto de la fertilidad del suelo en la concentración de los elementos en el fruto o en la hoja.

Palabras clave: *Coffea arabica* L., crecimiento del fruto, nutrición mineral, acumulación de nutrientes.

MICRONUTRIENTS IN COFFEE FRUITS AND LEAVES

An important factor to consider in mineral nutrition studies is related to the absorption and accumulation of the elements required by the different organs of the plant in each of the phenological stages of the crop. In order to determine the accumulation of Fe, Mn, Zn, Cu and B in coffee fruits (*Coffea arabica* L.) from the Castillo® Variety and its relationship with foliar concentration, samples of fruits and leaves from blooming to harvest were analyzed monthly in four Experimental Stations of Cenicafé. The accumulation of dry matter of the fruit over time followed a double sigmoid curve and, although there were some variations among localities, it was possible to distinguish the following stages: an initial low-gain stage in fruit biomass (up to 60-90 days after full bloom-DAF), followed by rapid expansion (up to 90-120 DAF), a phase of slower growth (up to 150 DAF) and a fourth stage with a strong increase in accumulation of dry matter. The concentration of micronutrients in the fruit decreased during the first 120 days after flowering and the accumulation trendline was similar to the growth of the fruit, showing the following order: Mn> Fe> B> Cu> Zn. There was no clear relationship between variations of foliar micronutrients and their demand for the fruit. Except for Mn, no effect of soil fertility was detected on the concentration of elements in the fruit or leaf.

Keywords: *Coffea arabica* L., fruit growth, mineral nutrition, accumulation of nutrients.

* Investigador Científico II e Investigador Científico I, respectivamente. Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Uno de los aspectos importantes en los estudios de la nutrición mineral se relaciona con la absorción y la acumulación de los elementos requeridos por los diferentes órganos de las plantas en cada una de las etapas fenológicas del cultivo. La información que se genera a partir de ello permite conocer la demanda de los nutrientes y sirve de guía para ajustar los planes de fertilización.

En el cultivo de café, el suministro de fertilizantes debe satisfacer los requerimientos nutricionales de las plantas, tanto para mantener el crecimiento vegetativo como la formación de los frutos. Según Rena y Maestri (26), durante la etapa reproductiva, los frutos de café constituyen los vertederos preferenciales en la partición de nutrientes. Pese a lo anterior, la demanda de éstos por las plantas de café no varía en virtud de la producción (12, 27), pues ante una baja fructificación, el crecimiento de las ramas plagiotrópicas y la formación de nuevas hojas y ramas reemplazan a los frutos como vertedero de carbohidratos y nutrientes (22).

Una vez que las hojas de café finalizan su expansión, pasan a ser exportadoras potenciales de nutrientes (33). La degradación de compuestos contenidos en las células foliares maduras conlleva a la migración de fotoasimilados y nutrientes minerales móviles —en especial N y K— hacia vertederos como raíces y frutos, con la subsecuente reducción de éstos en la hoja de acuerdo con Calbo, (1989), citado por Valarini *et al.*, 11, 33).

Una vez fecundada la flor del café, el crecimiento del fruto experimenta diferentes fases, las cuales pueden variar según la variedad y las condiciones predominantes del sitio. Salazar *et al.* (31) indican que

para la variedad Colombia el crecimiento del fruto se ajusta a un modelo sigmoideal con tres fases, la primera de tipo logarítmico que se extiende hasta los 60 días, la segunda exponencial que va hasta los 180 días, y la tercera, de estabilización, que ocurre hasta los 240 días, cuando el fruto alcanza la madurez completa. Cunha *et al.* (13), Laviola *et al.* (21) y Ramírez *et al.* (25) sugieren que el crecimiento del fruto de café puede explicarse mediante el modelo sigmoideal doble, el cual de acuerdo con Cannell (6) comprende los estadios de “cabeza de alfiler” (“garrapata” o “puntilla”), expansión rápida, formación del endospermo, acumulación de materia seca (llenado) y maduración.

Conforme al desarrollo del fruto ocurren cambios en la concentración de los nutrientes en estos diferentes estadios del crecimiento y, por consiguiente, en su cantidad acumulada y la producción de la biomasa (20). De acuerdo con Moraes y Catani (24) la mayor acumulación de materia seca por el fruto ocurre a partir del cuarto mes de la floración y en los dos últimos meses (hasta el 40%). Ramírez *et al.* (25) señalan que durante los primeros 90 días después de la floración se acumula el 50% de los requerimientos totales de todos los nutrientes, a excepción del K.

Con relación a los micronutrientes, las cantidades requeridas por las plantas son relativamente pequeñas, debido a que constituyen parte de las enzimas o intervienen como sus activadores en lugar de conformar estructuras vegetativas (14). En la variedad Colombia, para producir 1.000 kg de café almendra debe disponerse de aproximadamente 5.625 kg de café cereza. Los nutrientes exportados desde el suelo a través de este volumen de cosecha se estiman en 78 kg, de los cuales 44,9% se

encuentran en la almendra, 47,4% en la pulpa, 2,6% en el pergamino y 5,1% en el mucílago. De los anteriores porcentajes, la participación de los micronutrientes es de 0,3% en la almendra, 0,2% en la pulpa, 0,7% en el pergamino y 1,3% en el mucílago (28).

Dado que en la actualidad no se cuenta con información acerca de la acumulación de micronutrientes en los frutos de café para la zona cafetera de Colombia, el presente estudio tuvo como objetivo determinar para regiones contrastantes del país las variaciones en la acumulación de hierro-Fe, manganeso-Mn, cinc-Zn, cobre-Cu y boro-B en los frutos de café desde la floración hasta la maduración y sus concentraciones en las hojas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La etapa experimental del estudio se realizó entre marzo y noviembre de 2010, en cuatro lotes de café (*Coffea arabica* L.) Variedad Castillo®, ubicados en cuatro Estaciones Experimentales (EE) del Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, con características contrastantes en suelo y clima (Tablas 1 y 2). Las determinaciones de la materia seca y el análisis químico de las muestras recolectadas se efectuaron en el laboratorio de la Disciplina de Suelos de Cenicafe (Manizales, Caldas).

En cada localidad se efectuó una fertilización durante los meses de marzo-abril y otra entre septiembre y octubre, según los resultados de los análisis de suelos que se realizaron antes de iniciar la investigación (Tabla 3). Los planes en mención no incluían los micronutrientes

objeto de estudio y tampoco se realizaron aplicaciones de fertilizantes vía foliar.

Con base en los registros tomados en cada Estación Experimental se identificó el “día pico” de la floración (el de mayor evento en el año) en el mes de marzo de 2010. A partir de esta fecha, cada 30 días se tomaron muestras de frutos en las ramas del tercio productivo de 100 plantas que se seleccionaron aleatoriamente al iniciar la investigación. Este procedimiento se repitió durante los seis meses siguientes, hasta llegar al día pico de la cosecha en el mes de noviembre y completar así ocho muestreos. Con los frutos recolectados en cada evaluación se conformó una muestra compuesta.

Dado el tamaño de los frutos en los primeros tres meses, se recolectaron 40 frutos por planta para la primera evaluación, 20 en la segunda y 10 en la tercera, y para los siguientes cinco meses se tomaron cuatro frutos por planta. Luego de cada muestreo, para cuantificar la materia seca se dispusieron en una estufa 50 frutos por 72 h a 105°C. Los frutos restantes se secaron a 70°C y se analizaron sus contenidos de Fe, Mn, Zn, Cu y B mediante la metodología descrita por Carrillo *et al.* (5). En las mismas ramas donde se recolectaron los frutos también se tomaron muestras foliares en el tercer y cuarto nudo, contados a partir del ápice, para analizar la composición química de los mismos elementos mediante la metodología en referencia.

Con base en los valores de la materia seca y la concentración de los nutrientes en el fruto se calculó la acumulación de éstos en cada una de las épocas de muestreo, de acuerdo con la Ecuación <1>:

$$\text{Acumulación del nutriente } (\mu\text{g/fruto}) = [\text{Materia seca (g/fruto)} \times 10^6] \times [\text{Concentración del nutriente (mg.kg}^{-1}) \times 10^{-6}] \text{ <1>}$$

Tabla 1. Localización de las Estaciones Experimentales, característica de la plantación (lote de café seleccionado) y propiedades del suelo*.

	Estación Experimental			
	Naranjal	Líbano	El Rosario	Pueblo Bello
	Localización			
Departamento	Caldas	Tolima	Antioquia	Cesar
Municipio	Chinchiná	Líbano	Venecia	Pueblo Bello
Ecotopo	206A	207B	203A	402
Latitud Norte	04° 58'	04° 54'	05° 58'	10° 25'
Longitud Oeste	75° 39'	75° 02'	75° 42'	73° 34'
Altitud (m)	1.381	1.456	1.635	1.134
	Características de la plantación			
Fecha de siembra/zoca	2006	2006	2006	2007
Distancia de siembra (m)	1,0 x 1,0	1,0 x 1,0	1,4 x 1,4	1,0 x 2,0
Número ejes por planta	1,0	1,0	2,0	1,0
Sombra (%)	0	0	0	40
	Propiedades químicas y textura del suelo			
pH	4,9	5,0	4,4	4,4
Materia orgánica (%)	14,9	18,5	12,1	9,7
K (cmol _c .kg ⁻¹)	0,23	0,41	0,75	0,45
Ca (cmol _c .kg ⁻¹)	2,62	1,30	0,40	2,21
Mg (cmol _c .kg ⁻¹)	0,66	0,39	0,44	0,59
Al (cmol _c .kg ⁻¹)	1,0	1,8	6,6	2,5
P (mg.kg ⁻¹)	6	6	46	11
S (mg.kg ⁻¹)	18	4	7,9	44
Fe (mg.kg ⁻¹)	455	350	538	479
Mn (mg.kg ⁻¹)	38	34	30	109
B (mg.kg ⁻¹)	0,14	0,42	0,49	0,48
Cu (mg.kg ⁻¹)	3,90	9,00	2,85	4,20
Zn (mg.kg ⁻¹)	16,50	33,00	3,50	4,80
Textura	Franca	Franca	Arcillosa	Arcillosa

* Resultado correspondiente a una muestra tomada de 0 a 20 cm de profundidad. pH: potenciométrico, relación suelo:agua 1:1. Materia orgánica: Walkley-Black. P: Bray II. K, Ca y Mg: acetato de amonio 1N. Al: KCl 1N. S turbimétrico, fosfato monocálcico 0,008 M. B: agua caliente. Fe, Mn, Zn y Cu: EDTA 0,01 M y Ac. amonio 1,0 M.

Tabla 2. Precipitación mensual (mm) entre marzo y noviembre de 2010 en las cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación Experimental	Mes									Total
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	
Naranjal	181	202	391	321	538	311	380	311	443	3.078
Líbano	72	192	342	311	376	155	260	253	287	2.248
El Rosario	172	197	264	517	324	442	534	264	569	3.283
Pueblo Bello	160	249	349	415	236	427	331	200	213	2.580

Tabla 3. Nutrientes suministrados durante el año 2010* en los lotes experimentales.

Estación Experimental	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	(kg.ha-año ⁻¹)			
Naranjal	280	60	260	0
Líbano	240	40	180	12
Pueblo Bello	120	40	130	15
El Rosario	260	20	180	12

* Marzo y septiembre en El Rosario y Líbano y, abril y septiembre en Naranjal y Pueblo Bello.

Para explicar el crecimiento de los frutos en función del tiempo, se utilizaron los modelos de regresión no-lineares sigmoidales con tres y cuatro parámetros (Ecuaciones <2> y <3>), de acuerdo a lo sugerido por Laviola *et al.* (16).

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x-x_0}{b}\right)} \quad \langle 2 \rangle$$

Donde

\hat{y} = Materia seca del fruto

a = Punto máximo de la curva

b = Parámetro de ajuste

x_0 = Punto de inflexión

$$\hat{y} = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x-x_0}{b}\right)} \quad \langle 3 \rangle$$

Donde

\hat{y} = Materia seca del fruto

$a = y_{\max} - y_{\min}$

b = Parámetro de ajuste

x_0 = Punto de inflexión

y_0 = Punto mínimo de la curva (el intercepto)

Para el análisis de regresión se empleó el software SigmaPlot versión 10 de 2007.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento del fruto. La acumulación de la materia seca del fruto siguió una curva sigmoidal doble (Figura 1 y Tabla 4),

tendencia que se asemeja con lo reportado por Castro (9), Cunha *et al.* (13), Laviola *et al.* (24) y Ramírez *et al.* (25), pero que difiere parcialmente de la forma sigmoidal encontrada por Salazar *et al.* (31). Aunque se presentaron algunas variaciones entre las localidades, en todas fue posible distinguir cuatro etapas: una inicial con poca ganancia en la biomasa del fruto (hasta los 60 a 90 días después del pico de la floración-DDPF), seguida por una expansión rápida (hasta los 90 a 120 DDPF), una fase de crecimiento desacelerado (hasta los 150 DDPF) y un cuarto estadio con un fuerte incremento en acumulación de materia seca.

Al comparar entre Estaciones Experimentales, la fase inicial—crecimiento lento— tuvo una duración de 90 días en El Rosario, en tanto que en las demás localidades este período fue de 60 días. En Naranjal y El Rosario la segunda etapa—crecimiento rápido— transcurrió durante un mes, mientras que en Líbano y Pueblo Bello se desarrolló en dos meses. La fase desacelerada de crecimiento tardó 60 días en Naranjal y 30 días en los otros tres sitios; mientras que para todas las localidades la etapa final se desarrolló entre los 150 y 240 DDPF.

Una vez transcurridos 150 DDPF, los valores de la materia seca fueron similares para las cuatro localidades: El Rosario 0,299 g, Líbano 0,270 g, Naranjal 0,323

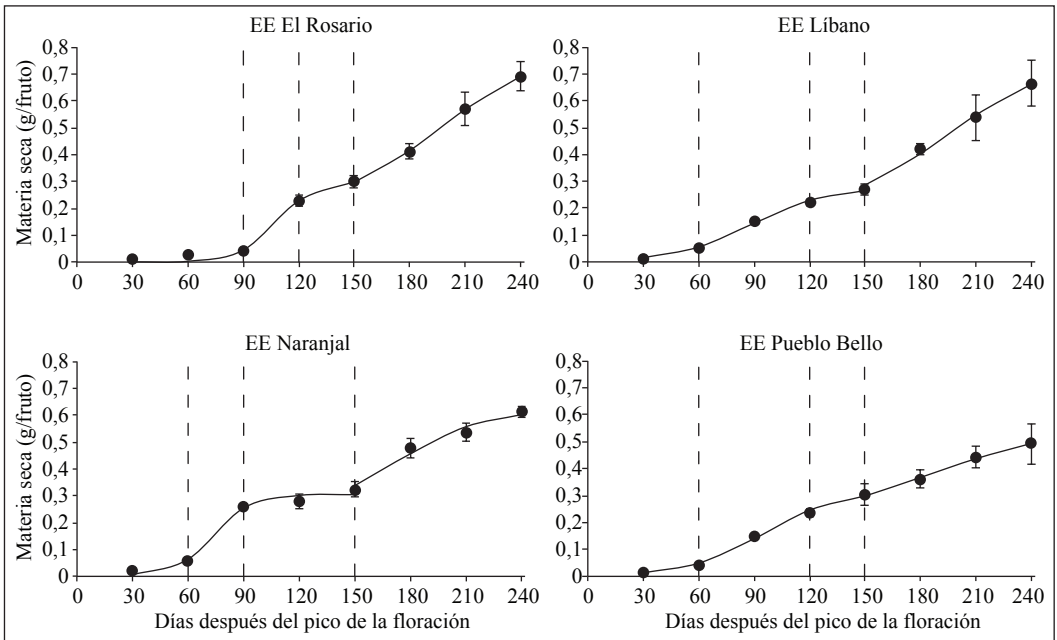


Figura 1. Acumulación de la materia seca en el fruto de café en respuesta al tiempo transcurrido entre la floración y la cosecha, en cuatro Estaciones Experimentales (EE) de Cenicafé. Las líneas punteadas delimitan los estadios del desarrollo del fruto.

g y Pueblo Bello 0,303 g. En el momento de la madurez de la cosecha, es decir, 240 DDPF, se registraron los siguientes valores: El Rosario 0,691 g, Líbano 0,665 g, Naranjal 0,612 g y Pueblo Bello 0,492 g. Si se toma como referencia a la Estación El Rosario, donde se registró el mayor peso, puede afirmarse que los frutos desarrollados en las Estaciones Experimentales Líbano, Naranjal y Pueblo Bello contenían 3,77%, 11,43% y 28,80% menos de materia seca, respectivamente.

Las diferencias entre las Estaciones pueden atribuirse a múltiples factores, siendo quizá más determinantes los componentes climáticos, como lo revelan los resultados obtenidos en Kenia por Cannell (4, 5) respecto a la lluvia, y en Brasil, por Laviola *et al.* (21) respecto a la temperatura. Cabe resaltar que los reportes de Gómez (16),

para Colombia, no indican influencia de los factores meteorológicos sobre el crecimiento del fruto pero sí sobre el crecimiento de estructuras vegetativas —nudos y hojas—, cuyos efectos se manifiestan en la cosecha del siguiente año. En cuanto a la disponibilidad del agua, las diferencias registradas entre las localidades estarían más relacionadas con la distribución de las lluvias que con su cantidad total (Tabla 2), pues el menor peso obtenido en la Estación Pueblo Bello pudiera deberse a una menor pluviosidad durante los dos meses previos a la cosecha. Se hubiera esperado un efecto benéfico del sombrío en el peso de los frutos en la Estación Pueblo Bello, como lo reportan los estudios desarrollados por Camargo *et al.* (3) y Castillo (8), sin embargo, la respuesta obtenida revela la influencia predominante de los factores de la zona en vez del microclima del ecosistema.

Tabla 4. Ecuaciones de regresión de la acumulación de la materia seca en el fruto de café en respuesta al tiempo transcurrido entre la floración y la cosecha en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación experimental	Período (DDPF)	Modelo	R ₂ (%)
Naranjal	30 a 150	$\hat{y} = 0,304/(1+\exp(-(x-73,449)/10,136))$	98,5
	120 a 240	$\hat{y} = 0,241+0,381/(1+\exp(-(x-174,108)/22,593))$	98,5
Libano	30 a 150	$\hat{y} = 0,279/(1+\exp(-(x-88,670)/20,585))$	99,7
	120 a 240	$\hat{y} = 0,162+0,614/(1+\exp(-(x-193,705)/31,302))$	99,6
El Rosario	30 a 150	$\hat{y} = 0,305/(1+\exp(-(x-108,602)/10,544))$	99,5
	120 a 240	$\hat{y} = 0,185+0,625/(1+\exp(-(x-196,048)/30,078))$	99,9
Pueblo Bello	30 a 150	$\hat{y} = 0,320/(1+\exp(-(x-95,213)/20,658))$	99,6
	120 a 240	$\hat{y} = 0,141+0,448/(1+\exp(-(x-178,719)/46,410))$	99,7

Los valores de la materia seca del fruto son mayores a los reportados para variedades Caturra (25, 31) y Catuaí amarillo (11). Parte de estas diferencias puede deberse al ambiente y manejo, y parte al componente genético; al respecto, Alvarado *et al.* (1) han tenido en cuenta el peso del grano como una característica deseable en los programas del mejoramiento genético para incrementar la productividad de la Variedad Castillo®.

Concentración de micronutrientes en el fruto. Las concentraciones de Fe, Mn, Zn, Cu y B en el fruto disminuyeron conforme se incrementó la materia seca del fruto a través de tiempo (Figura 2), resultado que se asemeja a los obtenidos por Catani *et al.* (10) y Ramírez *et al.* (25) para los elementos menores y por Chaves y Sarruge (11), Laviola *et al.* (18) y Sadeghian *et al.* (29, 30) para los macronutrientes. Esta reducción se asocia con un efecto de dilución en la concentración de los elementos como consecuencia del crecimiento del fruto (11, 32).

El promedio de la concentración de cada elemento —calculada a partir de los valores obtenidos para las cuatro localidades— se redujo así: Mn de 153 a 46 mg.kg⁻¹, Fe de 79 a 19 mg.kg⁻¹, B de 33 a 14 mg.kg⁻¹, Cu de 25 a 9 mg.kg⁻¹ y Zn de 24 a 5 mg.kg⁻¹. Lo

expuesto indica que el B y el Cu fueron los micronutrientes que en menor grado redujeron su concentración inicial en el fruto (58% y 64%, respectivamente), frente a Mn, Fe y Zn (70%, 76% y 79%, respectivamente).

Las mayores reducciones en las concentraciones de Mn, Fe, Cu y Zn ocurrieron durante los primeros 120 DDPF, tiempo después del cual tendieron a estabilizarse o presentar una disminución leve; en contraste, el B alcanzó valores bajos a los 150 DDPF, con fluctuaciones en los siguientes 90 días. El incremento en la concentración de B, dos y tres meses antes de la cosecha, estaría asociado a una mayor disponibilidad de agua en consecuencia del inicio de las lluvias en el segundo semestre del año (Tabla 2). Valencia (34) reporta para café una correlación positiva entre el nivel foliar de boro y la cantidad de agua retenida por el suelo. De acuerdo con Broadley *et al.* (2) la disponibilidad de boro se ve afectada fuertemente por el contenido de agua en el suelo ante condiciones de sequía, cuando disminuye el flujo de masa a las raíces.

Las mayores diferencias entre las localidades se registraron en los primeros 90 DDPF. En las Estaciones Pueblo Bello y El Rosario tendieron a presentarse los valores más altos de Mn y Cu prácticamente durante todo el

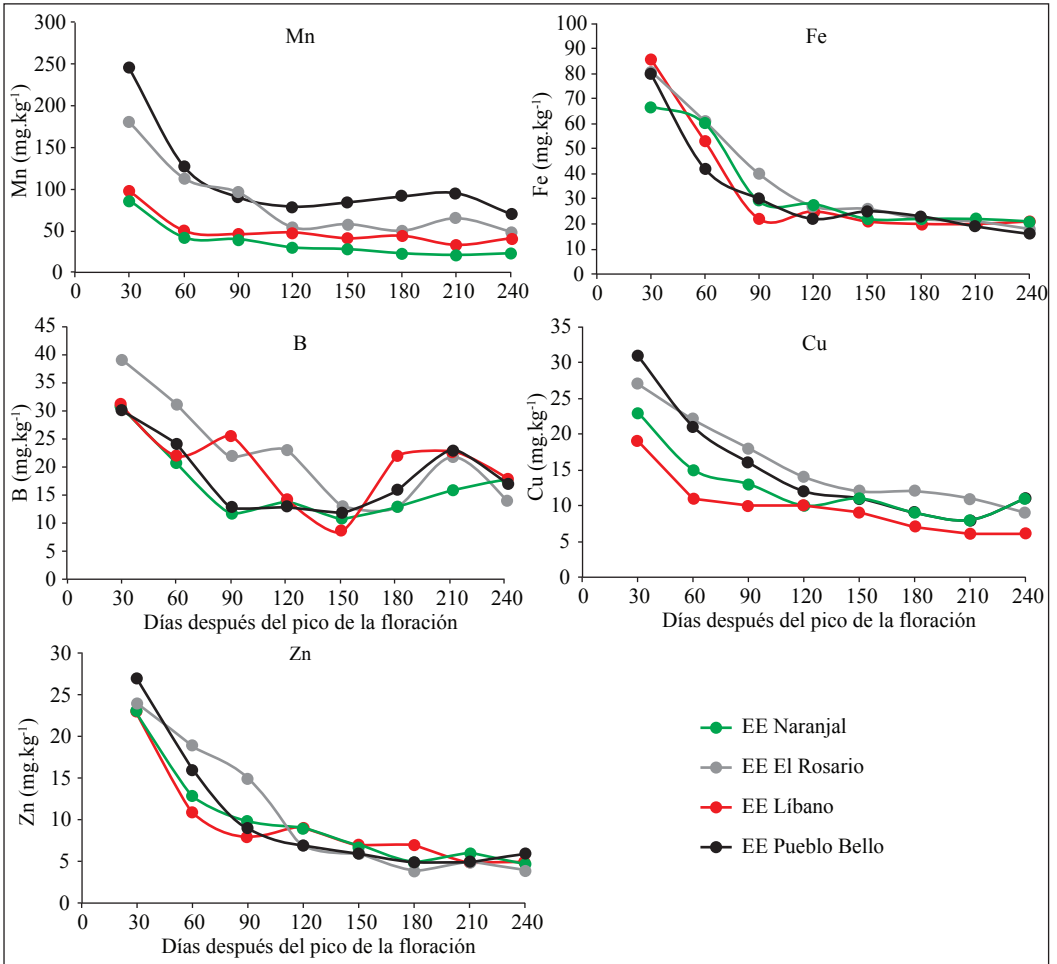


Figura 2. Concentración de manganeso-Mn, hierro-Fe, boro-B, cobre-Cu y cinc-Zn en frutos de café, en función del tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales (EE) de Cenicafé.

tiempo de evaluación, en tanto que para Fe y Zn las concentraciones fueron similares en todas las estaciones, desde los 120 DDPF en adelante.

En la Tabla 5 se presenta la concentración de los micronutrientes analizados en frutos maduros, 240 días después del día pico de la floración. El orden hallado —Mn>Fe>B>Cu>Zn— difiere parcialmente

de los reportes de Ramírez *et al.* (25) para la variedad Caturra —B>Mn>Fe>Cu>Zn—, y de los resultados hallados por Sadeghian *et al.* (28) para la variedad Colombia. Estos últimos señalan que el Mn y Fe son los elementos predominantes en los frutos de café, seguidos por B, Zn y Cu; sin embargo, llaman la atención que pueden presentarse ciertas variaciones dentro de una misma localidad y entre ellas.

En la Estación Experimental Pueblo Bello se registraron los valores más altos de Mn y los más bajos de B en los frutos maduros (Tabla 5). Con respecto al Mn, el resultado puede relacionarse con los contenidos del elemento en el suelo, asociado al pH (Tabla 1); mientras que para el caso del B el factor determinante sería la disponibilidad hídrica a través de la lluvia efectiva que alcanza el suelo. El relativo alto contenido de Mn en la Estación El Rosario también podría deberse con el pH del suelo. En cuanto a los demás nutrientes, no existió una relación clara entre su concentración en el fruto y la fertilidad del suelo.

Acumulación de micronutrientes en el fruto.

En un sentido amplio, la tendencia en la acumulación de nutrientes evaluados fue similar al crecimiento del fruto (Figura 3). Como consecuencia de una mayor concentración de Mn en el fruto, su cantidad acumulada en este órgano fue mayor que los demás microelementos en las cuatro localidades y durante todo el período de evaluación. El Fe fue el segundo elemento más abundante en la mayoría de las evaluaciones, seguido por B, Cu y Zn.

En la Tabla 6 se consignan las cantidades acumuladas de los nutrientes analizados en los frutos maduros a los 240 DDPF. En los frutos de la EE Naranjal se detectaron los contenidos más bajos de Mn, en Líbano los menores contenidos de Cu, en El Rosario

los valores más bajos de Zn y en Pueblo Bello los menores de Fe y B. Las mayores diferencias entre localidades se detectaron para B y Mn, y las menores para Zn.

Los valores hallados para Mn son mayores, los de Fe y Cu parcialmente menores y los demás nutrientes similares que los registrados por Laviola *et al.* (19) para la variedad Catuaí en Brasil. Comparados con los resultados reportados por Ramírez *et al.* (25) para la variedad Caturra en Costa Rica, los contenidos de B fueron más altos (14,95 µg/fruto), mientras que los de Mn y Zn fueron menores (13,63 y 1,74 µg/fruto, respectivamente). Las diferencias en mención pueden asociarse tanto al material genético –variedad–, como al ambiente –clima y suelo– y el manejo de las plantaciones (4, 5).

Al expresar la acumulación de los nutrientes en términos relativos –como porcentaje del máximo valor alcanzado–, se detectan variaciones tanto entre elementos como localidades (Figura 4), siendo las tendencias similares a la cantidad absoluta (Figura 3). Dentro de los contrastes en referencia puede resaltarse que: i) en los primeros 60 DDPF ya se había acumulado el 28% de Fe en los frutos desarrollados en la Estación Naranjal, mientras que para la misma fecha la cantidad acumulada de B en El Rosario solo representaba el 6%, ii) transcurridos 120 DDPF, la acumulación de Zn bajo

Tabla 5. Concentración de Mn, Fe, B, Cu y Zn en frutos maduros de café, 240 días después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación Experimental	Mn	Fe	B	Cu	Zn
			(mg.ha ⁻¹)		
Naranjal	23	21	18	11	5
Líbano	41	21	18	6	5
Pueblo Bello	49	18	14	9	4
El Rosario	70	16	7	11	6

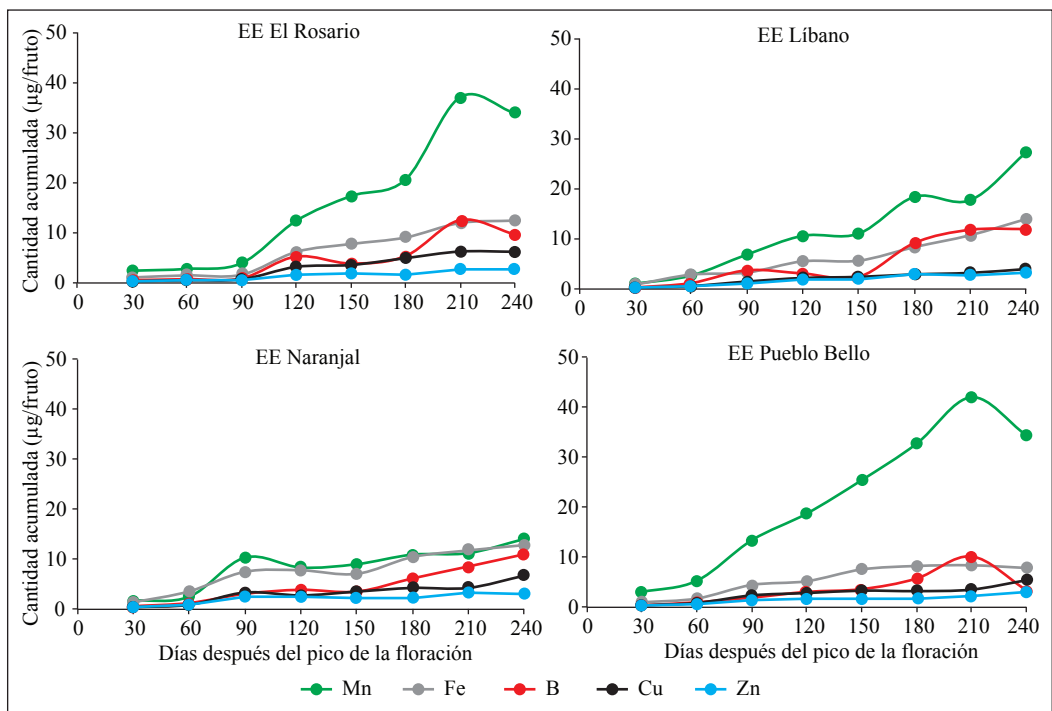


Figura 3. Cantidad acumulada de Mn, Fe, B, Cu y Zn en el fruto de café, en función del tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales (EE) de Cenicafé.

Tabla 6. Contenido de Mn, Fe, B, Cu y Zn en el fruto maduro de café 240 días después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación Experimental	Mn	Fe	B	Cu	Zn
	(µg/fruto)				
Naranjal	14,07	12,85	11,01	6,73	3,06
Líbano	27,28	13,97	11,98	3,99	3,33
Pueblo Bello	33,86	12,44	9,67	6,22	2,76
El Rosario	34,45	7,87	3,44	5,41	2,95

condiciones de Naranjal alcanzó el 78% y la de B en Pueblo Bello el 30%, y iii) a los 180 DDPF, es decir, 2 meses antes de la madurez de cosecha, el 98% de la cantidad total del Fe ya había sido almacenado en los frutos de la Estación Pueblo Bello, en tanto que la toma de B en El Rosario alcanzaba el 43%. Un común denominador en las cuatro localidades se observó para el

B, pues su acumulación durante los primeros 150 a 180 DDPF ocurrió de una manera más lenta que los demás elementos; en cambio, la mayor parte del Zn fue acumulada antes de los 120 DDPF.

Ramírez *et al.* (25) señalan que la mayor tasa de acumulación de B, Zn, Mn, Fe y Cu en frutos de café variedad Caturra ocurre en

el tercer mes después de la floración (32% a 45%), y que transcurridos 120 DDPF se ha almacenado en el fruto entre 66% y 74%. Los anteriores valores tienden a ser mayores que los registrados en este estudio, en cuyo caso se encontró una alta variabilidad entre elementos y sitios. Los reportes de Laviola *et al.* (19), para los micronutrientes, concuerdan con la anterior situación, y se atribuyen a las diferencias en la temperatura afectadas por la altitud.

Concentración foliar de micronutrientes.

Durante el tiempo comprendido entre la floración y la cosecha de los frutos ocurrieron cambios en las concentraciones foliares de Mn, Fe, B, Zn y Cu (Figura 5); sin embargo, y con excepción de Fe en la EE Pueblo Bello, no se evidenció un patrón

que pudiese relacionar las variaciones en mención con el crecimiento de los frutos en las diferentes localidades. En razón de ello, los cambios observados podrían atribuirse a las fluctuaciones de estos elementos en la solución del suelo, afectadas por la lluvia, antes que a la demanda por los frutos. Cabe resaltar que en ninguna de las plantaciones se suministraron micronutrientes vía fertilización y, por lo tanto, las diferencias obedecen a la disponibilidad de los nutrientes en la solución del suelo, gobernada por la humedad y la fertilidad del suelo.

Pocos estudios han demostrado relaciones claras entre la concentración de los nutrientes en la fuente-hoja y el vertedero-fruto. Ejemplos de ello son los reportes de Chaves y Sarruge (11) y Sadeghian *et al.* (29) para potasio,

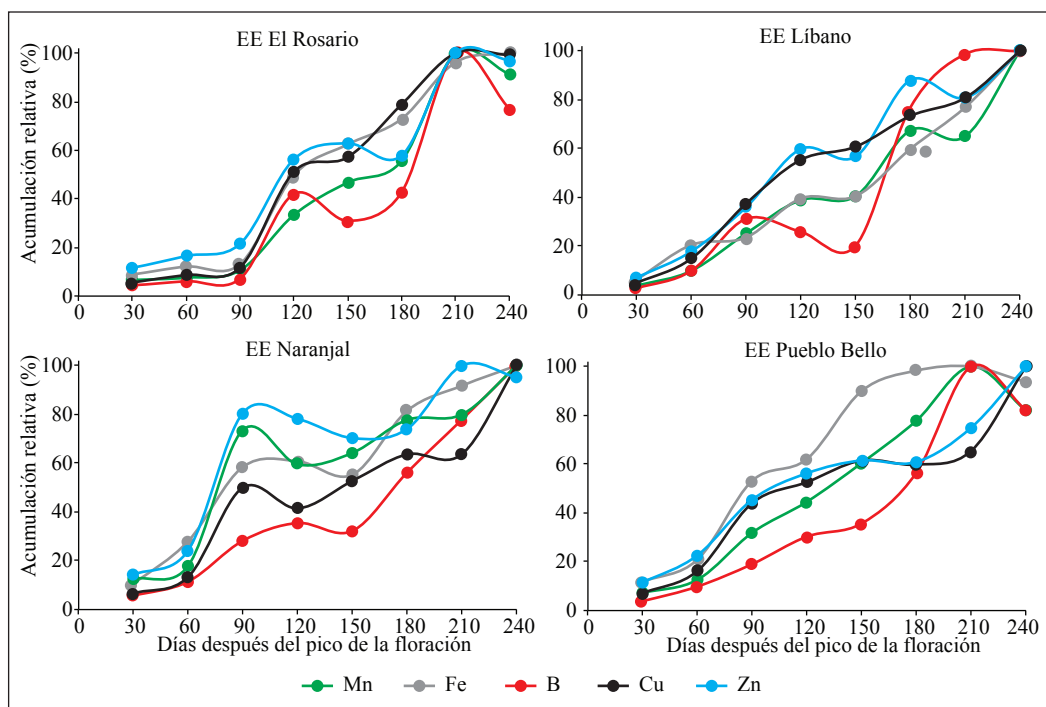


Figura 4. Acumulación relativa de Mn, Fe, B, Zn y Cu en el fruto de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales (EE) de Cenicafé.

cuya respuesta fue relacionada con la alta demanda de este elemento y su gran facilidad para moverse vía floema (29). En divergencia con lo expuesto, los resultados obtenidos por Chaves y Sarruge (11) para Ca y Mg, y por Sadeghian *et al.* (29) para N y P, y los de Sadeghian *et al.* (30) para Ca, Mg y S, no revelan la re-movilización de éstos desde las hojas muestreadas. En cuanto a los microelementos, aunque Laviola *et al.* (19) justifican la reducción de B, Fe y Zn

en razón de las exigencias del fruto, luego del inicio del período reproductivo y en el estadio del crecimiento rápido, las tendencias registradas no siempre fueron concluyentes.

Parte de lo anterior puede deberse al hecho que los nutrientes requeridos por los frutos son proporcionados en mayor grado por las hojas más próximas a éstos (33), las cuales pueden no corresponder necesariamente a las que se toman en el muestreo y se

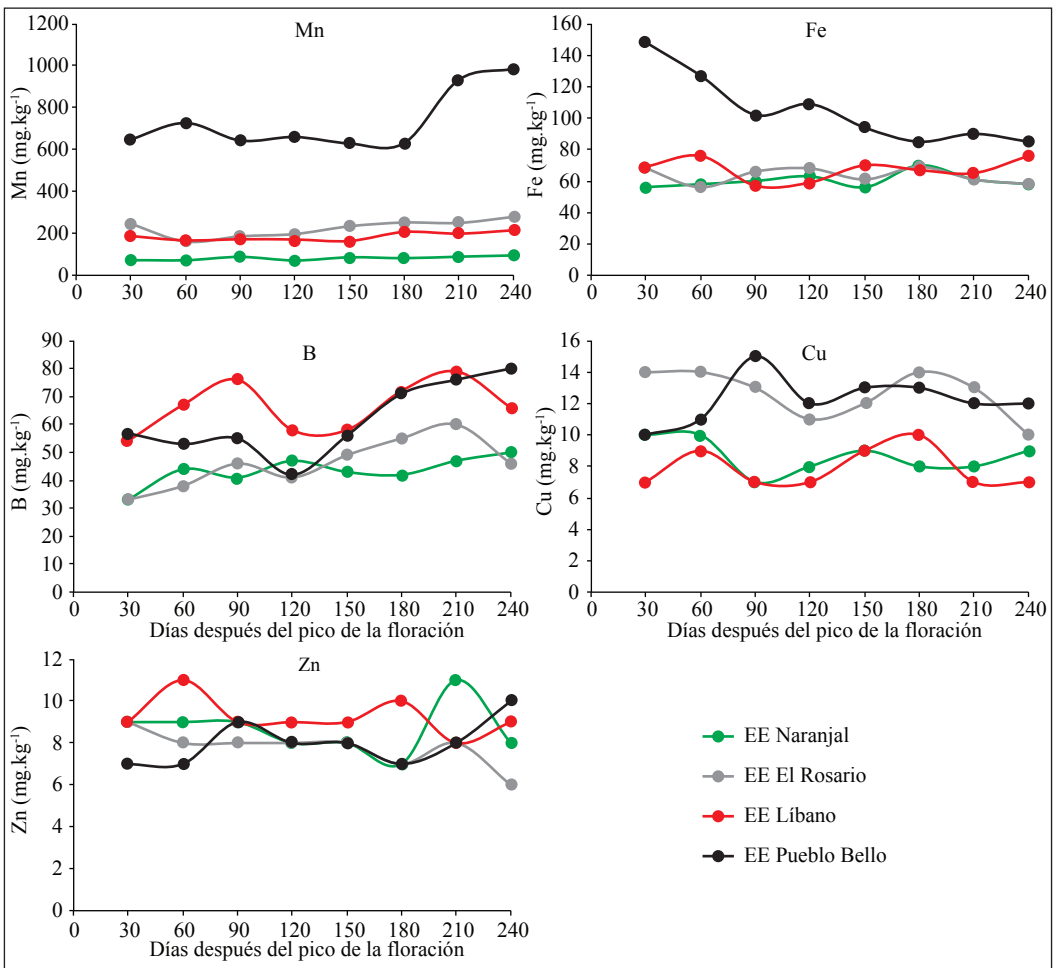


Figura 5. Concentraciones foliares de Mn, Fe, B, Cu y Zn en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

analizan químicamente. Con relación a lo anterior, un hecho fundamental tiene que ver con el crecimiento de la rama entre la floración y la cosecha; en este sentido, las hojas muestreadas –tercero o cuarto par– generalmente están más cerca a los nudos con frutos al inicio del estudio que al final. El aspecto en discusión tiene más sentido cuando se trata de plantas de primera y segunda cosecha, en cuyo caso hay un mayor crecimiento de nuevos nudos en las ramas productivas después de las floraciones.

Refiriéndose al transporte de los nutrientes vía floema, los elementos objeto de estudio se caracterizan por ser de baja movilidad (23,

35), lo cual implicaría que su migración desde el tercero o cuarto par de hojas muestreadas hacia los frutos sea limitada, especialmente si la rama se prolonga luego de la floración y, por consiguiente, incrementa la distancia entre los puntos en mención.

En la Tabla 7 se presentan los valores promedio de las concentraciones de los micronutrientes en las hojas muestreadas. A excepción de cierta tendencia para Mn, no se encontró relación evidente entre los micronutrientes foliares y sus contenidos en el suelo, lo cual puede deberse a la relativa alta disponibilidad de estos elementos en la solución del suelo.

Tabla 7. Promedio de concentración de Mn, Fe, B, Cu y Zn en hojas de café, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación Experimental	Mn	Fe	B	Cu	Zn
	(mg.kg ⁻¹)				
Naranjal	82,13	60,25	43,38	8,63	8,63
Líbano	185,13	67,38	66,25	7,88	9,25
Pueblo Bello	225,63	63,38	46,00	12,63	7,75
El Rosario	732,25	105,00	61,25	12,25	8,00

Finalmente, los resultados del estudio permiten concluir que:

- El crecimiento del fruto, medido como la acumulación de la materia seca, se ajustó a una curva sigmoideal doble.
- La concentración de los micronutrientes en el fruto disminuyó durante los primeros cuatro meses después de la floración, resultado que se asoció con un efecto de dilución en respuesta al crecimiento del fruto.
- La tendencia en la acumulación de los micronutrientes se asemejó al crecimiento del fruto, presentando el siguiente orden: Mn>Fe>B>Cu>Zn.
- No se encontró una relación clara entre las variaciones de los micronutrientes foliares y su demanda por los frutos.
- A excepción de Mn, no se detectó efecto de la fertilidad del suelo en la concentración de los elementos en el fruto o en la hoja.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan sus agradecimientos a la señora Beatriz Mejía M., a los ingenieros John Wilson Mejía Montoya, José Raúl Rendón Sáenz, Jorge Camilo Torres Navarro y José Enrique Baute Balcazar, así como a Lady Juliet Vargas Gutiérrez y Diego Alejandro Arcila Vasco.

LITERATURA CITADA

1. ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. Chinchiná : Cenicafé, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 337).
2. BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: Micronutrients. p. 191-248. En: Marschner, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. San Diego : Academic Press, 2012.
3. CAMARGO, F.T. DE; FAVARIN, J.L.; BERNARDES, M.S.; LUNZ, A.M.P.; RIGHI, C.A.; ALVES, S.N.R.; REIS, A.R. Crescimento e maturação do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em um sistema arborizado e em monocultivo. [CD ROM]. Brasil: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 2007.
4. CANNELL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of Arabica coffee in Kenya: Effects of seasonal differences in rainfall on bean size. Kenya coffee 36(425):176-180. 1971.
5. CANNELL, M.G.R. Factors affecting Arabica coffee bean size in Kenya. Kenya coffee 39(465):342-352. 1974.
6. CANNELL, M.G.R. Physiology of the coffee crop. p. 108-134. En: CLIFFORD, M.N.; WILLSON, K.C. Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage. Kent : Croom Helm, 1985.
7. CARRILLO P., I.F.; MEJÍA M., B.; FRANCO A., H.F. Manual de laboratorio para análisis foliares. Chinchiná : Cenicafé, 1994. 52 p.
8. CASTILLO Z., J. Rendimiento de las variedades Típica y Bourbon del *C. arabica* L., en diferentes condiciones de cultivo. Cenicafé 11(5):137-142. 1960.
9. CASTRO, A.M. Efeito de desfrutificações seqüenciadas sobre o crescimento e a produção do cafeeiro arábico. Vinosa : UFV, 2002. 106 p. Tesis de Doutorado.
10. CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; ALCARDE, J.C.; GRANER, C.A.F. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. Anais da escola superior de agricultura Luiz de Queiroz 24:249-263. 1967.
11. CHAVES, J.C.D.; SARRUGE, J.R. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. Pesquisa agropecuaria brasileira 19(4):427-432. 1984.
12. CORRÊA, J.B.; GARCÍA, A.W.R.; COSTA, P.C. DA. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo novo e Catuaí. p. 35-41. En: Congresso brasileiro de pesquisas cafeeiras. Rio de Janeiro : Ministério da indústria e do comércio : Instituto brasileiro do café, 1986.
13. CUNHA, R.L.; MARTINS, S.C.V.; CELIN, E.F.; WOLFGRAMM, R.; BATISTA, K.D.; CATEN, A.T.; CHAVES, A.R. DE M.; DAMATTA, F.M. Variações no crescimento vegetativo e reprodutivo em resposta à manipulação da razão fonte:dreno, em *Coffea arabica* L. sob condições de campo. En: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil. Brasília : Embrapa café, 2007.
14. DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. p. 327-354. En: FERNANDES, M.S. Nutrição mineral de plantas. Vinosa : Sociedade brasileira de ciências do solo : SBCS, 2006.
15. GALBO, A.G. Senescência em folhas e migração de solutos. p. 123-134. En: SODEK, L.; CASTRO, P.R.C.; NEVES, M.C.P. Reunião brasileira de fisiologia vegetal. Piracicaba : Sociedade brasileira de fisiologia vegetal, 1989.
16. GÓMEZ G., L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del café. Cenicafé 28(1):3-17. 1977.
17. LAVIOLA, B.G.; MAURI, A.L.; MARTÍNEZ, H.E.P.; ARAÚJO, E.F.; NEVES Y.P. Influência da adubação na formação de grãos mocas e no tamanho de grãos de café (*Coffea arabica* L.). Coffee science 1(1):36-42. 2006.
18. LAVIOLA, B.G.; MARTÍNEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B. DE; BARTOLOMEU, R.; ÁLVAREZ, V.H. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de *Coffea arabica*. Revista brasileira de ciência do solo 31(2):319-329. 2007.
19. LAVIOLA, B.G.; MARTÍNEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M.; ROSADO, L.D.S. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo: Micronutrientes. Revista brasileira de ciência do solo 31(6):1439-1449. 2007.
20. LAVIOLA, B.G.; MARTÍNEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes

- de cultivo: Cálcio, magnésio e enxofre. Revista brasileira de ciência do solo 31(6):1451-1462. 2007.
21. LAVIOLA, B.G.; MARTÍNEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D.; MENDONÇA, S.M.; ROSADO, L.D.S. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. Bioscience 24(1):19-31. 2008.
 22. MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J.L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C.P.; HEINRICHS, R.; SILVEIRA, J.S.M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. Pesquisa agropecuaria brasileira 37(7):1017-1022. 2002.
 23. MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principios de nutrición vegetal. Basel : Internacional potash institute, 2000. 692 p.
 24. MORAES, F.R.P. DE; CATANI, R.A. A absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante sua formação. Bragantia 23(26):331-336. 1964.
 25. RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrimentos por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. Agronomía costarricense 26(1):33-42. 2002.
 26. RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. Informe agropecuario 11(126):26-40. 1985.
 27. RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central. Cenicafé 55(4):265-276. 2004.
 28. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. Cenicafé 57(4):251-261. 2006.
 29. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; GONZÁLEZ O., H. Acumulación de nitrógeno fósforo y potasio en los frutos de café. Cenicafé 63(1):7-18. 2012.
 30. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; GONZÁLEZ O., H. Acumulación de calcio magnesio y azufre en los frutos de café. Manizales : Cenicafé, 2013. 8 p. (Avances Técnicos No. 430).
 31. SALAZAR G., M.R.; CHAVES C., B.; RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Crecimiento del fruto de café *Coffea arabica* var. Colombia. Cenicafé 45(2):41-50. 1994.
 32. SOUZA, V.H. DA; MAESTRI, M.; BRAGA, J.M.; CHAVES, J.R.P. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café *Coffea arabica* L. var. Mundo novo. Ceres 22(123):318-331. 1975.
 33. VALARINI, V.; BATAGLIA, O.C.; FAZUOLI, L.C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. Bragantia 64(4):661-672. 2005.
 34. VALENCIA A., G. La deficiencia de boro en el cafeto y su control. Cenicafé 15(3):115-125. 1964.
 35. WHITE, P.J. Long-distance transport in the xylem and phloem. p. 49-70. En: Marschner, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. San Diego : Academic Press, 2012.